近 58 a 新疆巴州极端气温事件变化特征①

赵明玉[1,2]， 武胜利[1,2,3]， 任耀军[3]， 吕 婷[1,2]， 李京龙[1,2]
（1 新疆师范大学地理科学与旅游学院，新疆 乌鲁木齐 830054；
2 新疆师范大学新疆干旱区湖泊环境与资源重点实验室，新疆 乌鲁木齐 830054；
3 新疆师范大学实验室与设备管理处，新疆 乌鲁木齐 830054）

摘 要：选取 WMO 推荐的 15 个极端气温指数，对 1959—2016 年新疆巴州地区 7 个气象站点观测的日最高、最低气温数据，采用一元线性回归法等多种统计方法对研究区极端气温事件进行分析。结果表明：近 58 a 来新疆巴州地区冷暖指数变化呈非对称性，暖指数呈不同程度的显著上升，冷指数总体呈显著下降趋势，其中 *TN90P* 年际变化率最大，为 4.67 d·(10 a)$^{-1}$。夜指数(*TN10P*、*TN90P*)和昼指数(*TX10P*、*TX90P*)变化率前者大于后者。冷指数在 20 世纪 80 和 90 年代中后期发生突变，暖指数和 *GSL*、*WSDI* 突变时间一致为 90 年代中后期，冷指数对气候变化较敏感。发生频率：极端高温增加，极端低温降低；强度：增强；持续时间：作物生长期呈显著增加趋势，其中巴音布鲁克增加显著，幅度最大[4.4 d·(10 a)$^{-1}$]。*TNx*、*TXx* 和 *GSL* 主周期均为 28 a。高载荷指数：*TEM-A*(0.335)，*TN10P*(−0.313)和 *TN90P*(0.312)，是影响该地区整体气温发生变化的主要因素。

关 键 词： 新疆巴州地区；极端气温指数；时空变化；周期检测
文章编号

极端气候事件，特别是极端气温，频次高、强度大、持续时间长，导致风沙、植被变化，从而威胁粮食安全、水安全及能源安全，引起全社会的重视和关注[1-2]。有学者研究指出：气候异常对种植、畜牧、林果等产业产生不同程度的影响[3]。IPCC 最新报告中指出：近半个世纪，全球平均地表增温速度[0.12 ℃·(10 a)$^{-1}$]是 1880 年的两倍[4-5]。中国年均地表温度升温速度为 0.22 ℃·(10 a)$^{-1}$，升高 1.1 ℃[6]。相关研究发现，极端气候发生与全球暖化有关[7-8]。较于 1986—2005 年，2046—2065 年中国区域极高低气温的增加幅度可能超过 2.0 ℃(概率 >66%)[9]。全球尺度上，JANA 等[10] 研究发现，暖极端呈持续积极趋势，冷极端在北半球中纬度表现连贯的冷却模式；亚太地区，CHOI 等[11] 研究得出极端温度事件发生为季节性、昼夜不对称；王岱等[8] 研究中国区域指出，总体来看：极端气温变暖减慢或变冷，区域来看：极端气温在不同季节变化程度有差异；西北地区，曲姝霖等[12] 得出极端高温事件频次普遍增加的结论；有的学者选择小尺度的地区极端气温研究，薛海丽等[13] 选择内蒙古不同草原类型区、贾文雄[14] 选择祁连山和河西走廊等等。现有的极端气候研究主要集中在不同尺度时空规律及其变化原因，判断依据选取不一，这与我国幅员辽阔有关。巴音郭楞蒙古自治州(以下简称“巴州”)处于生态脆弱[15] 的西北干旱区，且地形地貌多样，极端气温变化更为复杂，同时巴州地区极端气温事件鲜有研究，探讨区域极端气温的变化特征和规律，是预测极端气温事件基础[16]，对地区极端气温的预防及农业生产、生态环境、国民经济大有裨益，且为区域可持续发展提供科学依据。

巴州位于新疆东南部，经纬度为 35°38′~43°36′N，82°38′~93°45′E，是中国陆地面积最大的地级行政区，下辖共 8 县 1 市，其中库尔勒、尉犁、轮台、且末和若羌属塔里木盆地东部暖温带干旱区，光

① **收稿日期：**2019-05-05； **修订日期：**2019-11-26
基金项目：塔里木河中下游胡杨林更新复壮关键技术研究(HY-2.3)资助
作者简介：赵明玉(1994-)，女，在读研究生，从事干旱区环境演变与气候变化研究. E-mail：995636192@qq.com
通讯作者：武胜利(1977-)，男，博士，教授，从事干旱区环境演变与气候变化研究. E-mail：wushengli77@126.com

热充足，适宜农业的发展，州府库尔勒更是南北疆的交通枢纽和物资集散地。极端气候的变化必然影响农作物的品质、社会经济等，为使区域更好地可持续发展，利用巴州地区 7 个气象站点的逐日气温观测资料，通过 RClimDex(1.0)软件计算 15 个极端气温指数，全面分析该区域极端气温特征，以此为新疆巴州及局部尺度预防极端气温、布局农业的生产作参考。

1 数据资料与研究方法

本文选取数据来自国家气象地面基准站 7 个站点(库尔勒、轮台、若羌、且末、焉耆、巴音布鲁克、巴仑台)的逐日最高气温和逐日最低气温，选取原则为数据是否具有均一性、代表性。选取时间序列为 1959—2016 年，长时间序列能更好的分析巴州地区极端气温变化规律。通过 RClimDex(1.0)软件对数据进行严格的控制，包括缺失值、不合理值(日最高温 < 日最低温)和离群值，依据为(WMO)气候委员会推荐的极端气温指数。联系研究区实际情况，选择 15 个极端气温指数，分三方面：冷指数(*FD*0、*TN*10*P*、*TX*10*P*、*ID*0、*TNn*、*TXn*)、暖指数(*SU*25、*TN*90*P*、*TX*90*P*、*TR*20、*TNx*、*TXx*)和持续指数(*GSL*、*CSDI*、*WSDI*)(表 1)进行分析。采取一元线性回归法、距平法、Mann-Kendall 法、滑动 *t* 检验、小波分析和主成分分析法，反距离加权插值法，并对结果进行显著性检验[17]。

表 1 极端气候指数定义

Tab. 1 Definition of extreme temperature indices

类型	指数及单位	定义
冷指数	霜冻日数(*FD*0)/ d	一年中日最低温 <0 ℃的日数
	冷夜日数(*TN*10*P*)/ d	日最低气温 <10% 分位值的日数
	冷昼日数(*TX*10*P*)/ d	日最高温 <10% 分位值的日数
	冰冻日数(*ID*0)/ d	日最高气温(*TX*) <0 ℃的日数
	日最低气温极低值(*TNn*)/ ℃	年日最低气温的最小值
	日最高气温极低值(*TXn*)/ ℃	年日最高气温的最小值
暖指数	夏日日数(*SU*25)/ d	日最高气温 >25 ℃的日数
	暖夜日数(*TN*90*P*)/ d	日最低气温 >90 % 分位值的日数
	暖昼日数(*TX*90*P*)/ d	日最高温 >90 % 分位值的日数
	热夜日数(*TR*20)/ d	日最低气温(*TN*) >20 ℃的日数
	日最低气温极高值(*TNx*)/ ℃	年日最低气温的最大值
	日最高气温极高值(*TXx*)/ ℃	年日最高气温的最大值
持续指数	作物生长期(*GSL*)/ d	连续 6 d >5 ℃或 <5 ℃的时间跨度
	冷持续指数(*CSDI*)/d	连续 6 d 最低温在 10% 分位值日数天
	热持续指数(*WSDI*)/d	连续 6 d 最高温在 90% 分位值日数天

2 极端气温指数时空特征分析

2.1 时间变化特征

2.1.1 年际和年代际变化 由表 2 可知，冷指数普遍下降，倾向率绝对值排序：*TN*10*P* > *FD* > *TX*10*P* > *TNn* > *ID* > *TXn*。其中 *TN*10*P* 相关系数 $|r| > r_{\alpha} =$ 0.01，即 *TN*10*P* 随年份增加下降趋势最显著，1967 年出现最大值：46 d，最小值在 2007 年出现为 5 d。*FD* 倾向率：-3.17 d·(10 a)$^{-1}$，年均值为 162 d，与 *TN*10*P* 最大值同一年发生，值 196 d。*TNn* 年均值为 -23 ℃，年际倾向率较小，为 0.36 ℃·(10 a)$^{-1}$。研究区在 1959—2016 年暖指数呈不同程度的显著上升趋势，*TN*90*P* 年际变化率最大，为 4.67 d·(10 a)$^{-1}$，且分别在 2006 年和 2010 年达到历年最大值。*TXx* 变化较小[0.26 ℃·(10 a)$^{-1}$]，在 1983 年、2006 年和 2015 年均出现最大值 38 ℃。持续指数 *GSL*、*CSDI*、*WSDI* 表征极端气候持续事件，1959—2016 年均 *GSL* 为 224 d，表明作物生长期持续时间较长，变化率为 2.60 d·(10 a)$^{-1}$的极显著($\alpha < 0.001$)缓慢增加，2006 年值最大，为 249 d，1976 年值最小，为 208 d。*CSDI* 上升不显著，年际倾向率为 0.90 d·(10 a)$^{-1}$。*WSDI* 年际变化率为 1.73 d·(10 a)$^{-1}$，最大值为 26 d，与 *GSL* 最大值发生时间一致，表两者一定程度上同步。

在 90 年代后期冷指数下降、暖指数增多，可推断此时间段极端气温可能突变(图 1)。冷指数中，*TN*10*P* 变化最大，与上述分析相同。相对应的 *TN*90*P* 增加幅度大于其他暖指数。在 21 世纪初，*TN*90*P* 增长率为 68%，*TN*10*P* 下降率为 43%，暖夜指数变化较大。在 20 世纪 90 年代 *TNn* 和 *TXn* 达到历年变化波动最大，幅度均为 -9%，*TNx* 与历年平均值一致，*TXx* 低于年均值 1 ℃，变化幅度相对较小。*CSDI* 上升幅度较小，在 90 年代距平值由正值为负值。*GSL* 与 *TN*90*P* 变化一致，在 90 年代后期大幅度上升，可能这两者之间存在正相关。

综上，新疆巴州地区极端气温时间序列的连续性变化：冷暖指数显现不对称的反方向变化，暖指数上升，冷指数逐年下降，夜指数(*TN*10*P*、*TN*90*P*)变

表 2　1959—2016 年新疆巴州地区极端气温指数年际变化

Tab. 2　Annual variation of extreme temperature index in Bayingolin Mongol Autonumous Prefecture, Xinjiang during 1959－2016

指数及单位	*FD*/d	*TN10P*/d	*TX10P*/d	*ID*/d	*TNn*/℃	*TXn*/℃	*SU*/d	*TN90P*/d
倾向率	－3.17*	－3.55**	－1.30**	－0.30	0.36*	0.17	1.88**	4.67**
相关系数	0.71*	0.69**	0.37**	0.06	0.28*	0.12	0.52**	0.83**
方差	55.41	51.75	8.63	0.18	4.57	0.84	20.24	122.70
平均值	162.39	19.24	19.36	53.52	－22.84	－11.55	116.82	19.08
最大值	176.14	46.45	33.27	76.14	－19.10	－6.90	130.29	40.14
最小值	141.57	4.62	9.44	38.86	－29.43	－18.14	106.00	6.22

指数及单位	*TX90P*/d	*TR*/d	*TNx*/℃	*TXx*/℃	GSL/d	*CSDI*/d	*WSDI*/d
倾向率	2.76***	2.66***	0.41***	0.26**	2.60***	0.90	1.73***
相关系数	0.64***	0.79***	0.60***	0.44**	0.51***	0.28	0.48***
方差	38.91	94.93	31.05	13.23	19.36	4.81	16.84
平均值	19.06	16.22	22.01	35.73	224.36	5.39	6.34
最大值	35.29	30.00	24.94	38.27	249.29	26.43	26.29
最小值	7.78	8.71	20.49	33.57	207.57	0.00	0.00

注:*、**、***分别表示通过 0.05、0.01、0.001 显著性检验水平

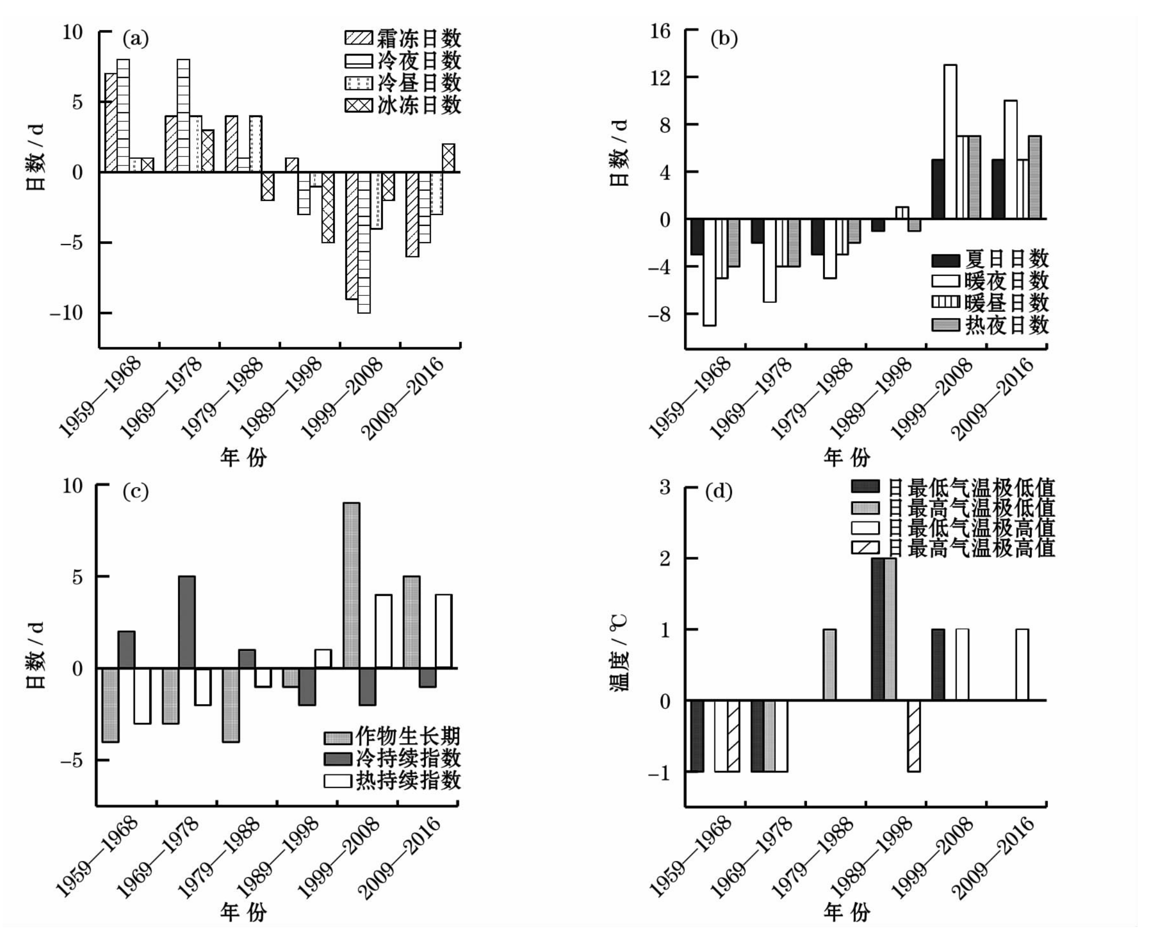


图 1　新疆巴州地区极端气温指数年代际变化

Fig. 1　Variation of interdecadal extreme temperature index in Bayingolin Mongol Autonumous Prefecture, Xinjiang

化幅度大于昼(*TX10P*、*TX90P*)指数。

2.1.2　极端气温突变检测　气温变化分渐变和突变,采用曼—肯德尔法和滑动 *t* 检验法分析极端气温的不连续性变化。由图 2 可知:*FD* 在 1995 年后明显下降,下降程度远低于显著性 0.05 界线,甚至低于 0.01 界线。冷指数 *TN10P*、*TX10P* 突变时间点

分别为 1988 年和 1997 年，明显趋于减少（$P < 0.01$），M-K 检验 *ID* 交点较多，为剔除伪突变点，再用滑动 t 检验法检测（图略）并未超出临界线，表明 *ID* 在研究时段并未突变。*TNn* 的 t 统计量在 1985 年超过 $t_{0.01} = 2.88$（步长为 10）和 $t_{0.01} = 3.06$（步长为 7），但此时 *UF* 和 *UB* 并未有交点，表明 *TNn* 在研究时间内无突变点。类似可得 *TXn* 变化不是突变。暖指数 *SU*、*TR* 分别在 2000 年、1996 年突变，*TR* 上升最明显，1996 年之后 *UF* 远超出 0.01 临界线，1996 年之前波动上升且趋势不明显。滑动 t 检验 *TN90P* 突变点年限 1994 年未超过临界线，且 M-K 检验交点年限为 1988 年不在 $t_{0.01} = 2.88$ 范围内，即 *TN90P* 无明显突变。*TXx* 在 M-K 检验时有多个交点，滑动 t 检验进一步验证，增加突变点可信度，表明 *TXx* 突变年份为 1972 年。结合 2 种检验得，分别在 90 年代和 80 年代 *CSL*、*CSDI* 突变，*GSL* 的 *UF* 值 >0，尤其是 2004 年 *CSL* 显著增加，*CSDI* 的 *UF* 值 <0，1998 年超出临界线，此后减少更加显著。1996 年 *WSDI* 发生突变，上升趋势明显（$P < 0.05$）。

综上，新疆巴州地区近 58 a 来极端暖事件增加，与慈晖等[18]研究的结论一致。冷指数较暖指数敏感，突变时间段为 80、90 年代中后期，暖指数和 *GSL*、*WSDI* 突变时间为 90 年代中后期，与新疆其他地区[19-21]发生突变年限有差异，表明在小的空间尺度上极端气温有差异。

2.1.3 极端气温指数周期性 分析极端气温的周期及其具体的时域分布。制作典型极端指数 *TNn*、*TXx* 和 *GSL* 的 *Morlet* 小波系数实部等值线图，见图 2a，2c，2e，小波方差图，其反映信号波动的能量的分布，确定主要周期（图 2b，2d，2f）。极端低温有 4 个周期：5 a、8 a、14 a 和 28 a，其中 28 a 为主周期。由图 2a 可知，23～32 a 存在冷暖交替的准三次震荡，能量最强，周期变动明显，具全域性；时间尺度 8～16 a 上有准 5 次震荡，1984 年之后逐渐减弱；3～7 a 时间尺度较稳定。*TXx* 主周期为 28 a，第二周期为 23 a，第三周期为 15 a，共 3 个周期。25～32 a 时间尺度周期变化最显著，有 4 个高值区暖期，3 个低值区冷区，几乎贯穿整个研究时域；21～24 a

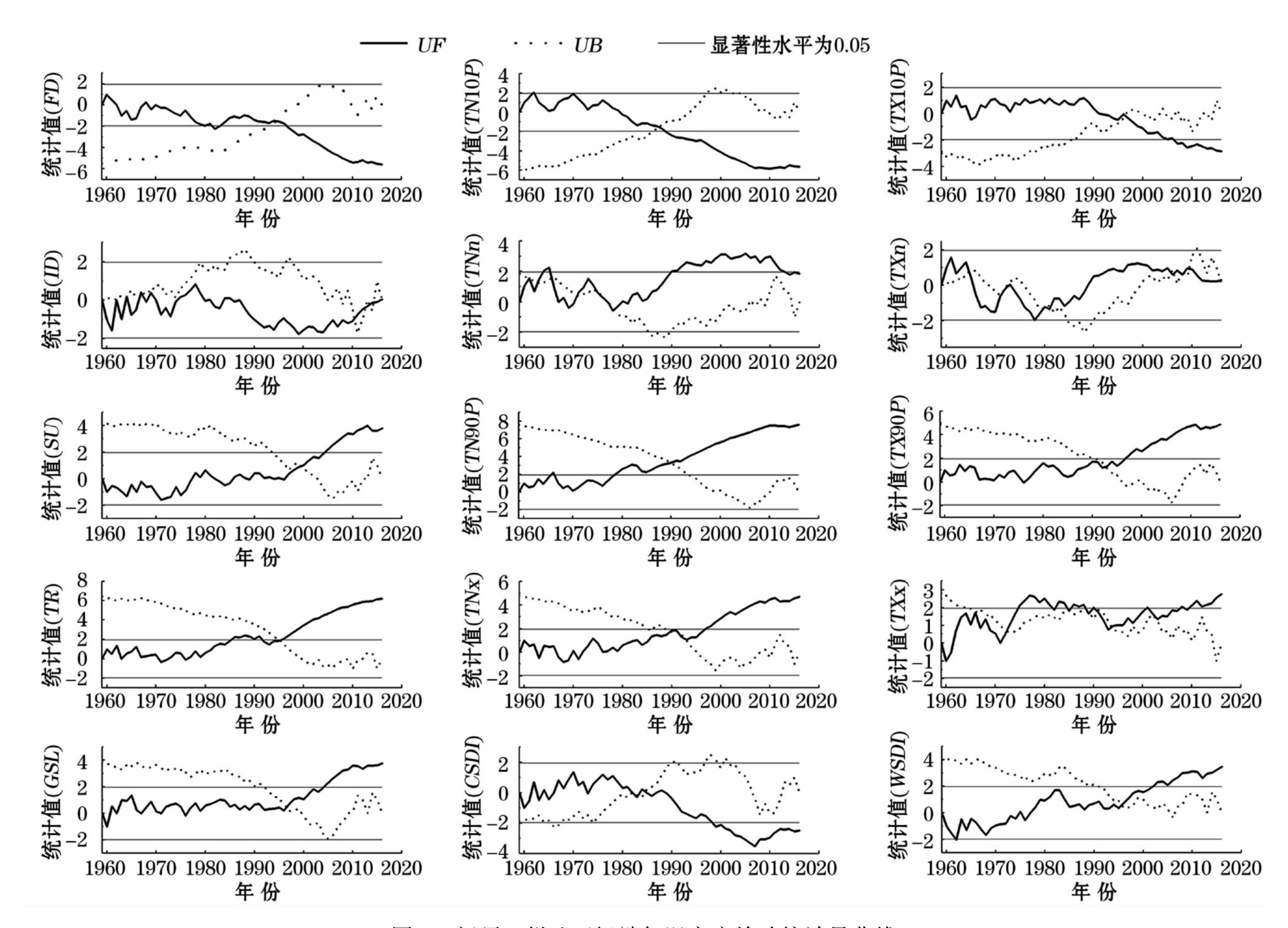


图 2 新疆巴州地区极端气温突变检验统计量曲线

Fig. 2 Statistical curve of extreme temperature sudden change test in Bayingolin Mongol Autonumous Prefecture, Xinjiang

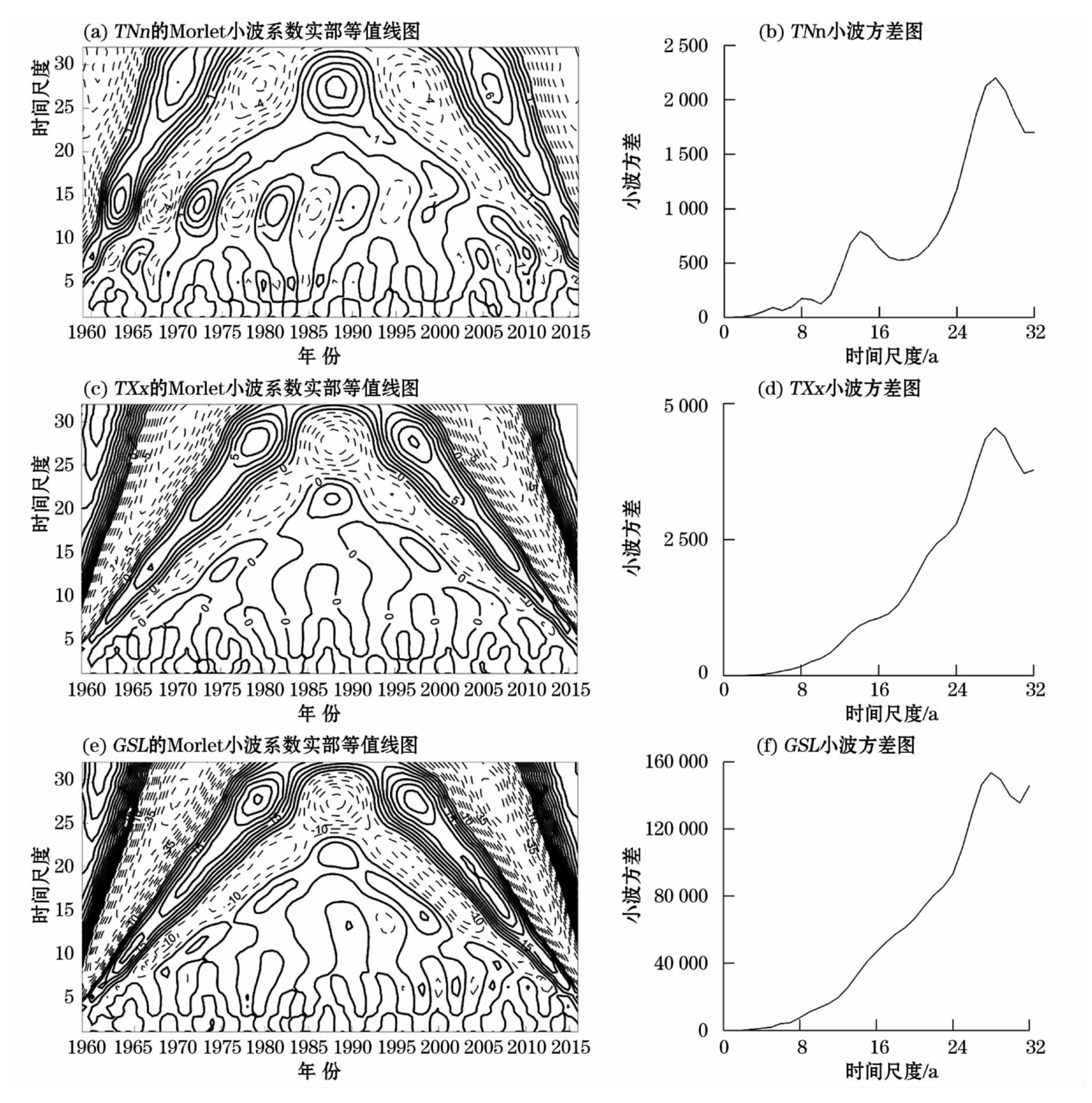


图 3　*TNn*、*TXx*、*GSL* 的 Morlet 小波系数实部等值线图及小波方差图

Fig. 3　Real contour map of morlet wavelet coefficients of *TNn*, *TXx* and *GSL* and the wavelet variance diagram

尺度变化程度次之,经历三次冷暖交替,2012 年后等值线密度较大,说明极端高温大幅度增多;10 ~ 16 a尺度总体较稳定,但有增强—减弱—再增强的较弱波动。作物的产量和品质一定程度上受制于生长期的长短[22]。由图 2f 得,28 a 是极大值,为主周期,22 a 为第二周期,17 a 为第三周期。25 ~ 32 a 周期性最强,能量最大,三次冷暖交替变化。7 ~ 22 a 尺度能量较弱。

2.2　极端气温空间特征

图 4 为近 58 a 来新疆巴州地区极端气温指数空间分布图,分三方面:频率、强度和持续时间分析[23]。各县市冷指数除 *TNn* 和 *TXn* 较小程度增加,均呈减少趋势。*FD* 显著减少,幅度范围:-4 ~ -2 d·(10 a)$^{-1}$,绝对值排序:轮台、焉耆 > 巴仑台 > 巴音布鲁克 > 且末 > 库尔勒 > 若羌;*TN10P* 下降幅度最大的是轮台 -5.4 d·(10 a)$^{-1}$,次之为焉耆 -4.8 d·(10 a)$^{-1}$;各县市 *TX10P* 和 *ID* 减少幅度相差较小,*TX10P* 由东南向西北减少,*ID* 则相反。暖指数在各县市显现程度不同的增加。*SU25* 在巴仑台、巴音布鲁克上升不显著,未通过 0.05 水平;*TN90P* 明显增加,排序为:轮台〔6.8 d·(10 a)$^{-1}$〕> 巴仑台〔6.7 d·(10 a)$^{-1}$〕> 焉耆〔5.2 d·(10 a)$^{-1}$〕> 且末〔4.1 d·(10 a)$^{-1}$〕> 库尔勒〔3.8 d·(10 a)$^{-1}$〕> 若羌〔3 d·(10 a)$^{-1}$〕> 巴音布鲁克〔2.9 d·(10 a)$^{-1}$〕;*TX90P* 各县市增加幅度相差较小,呈东南向西北减少趋势;轮台的热夜日数变化幅

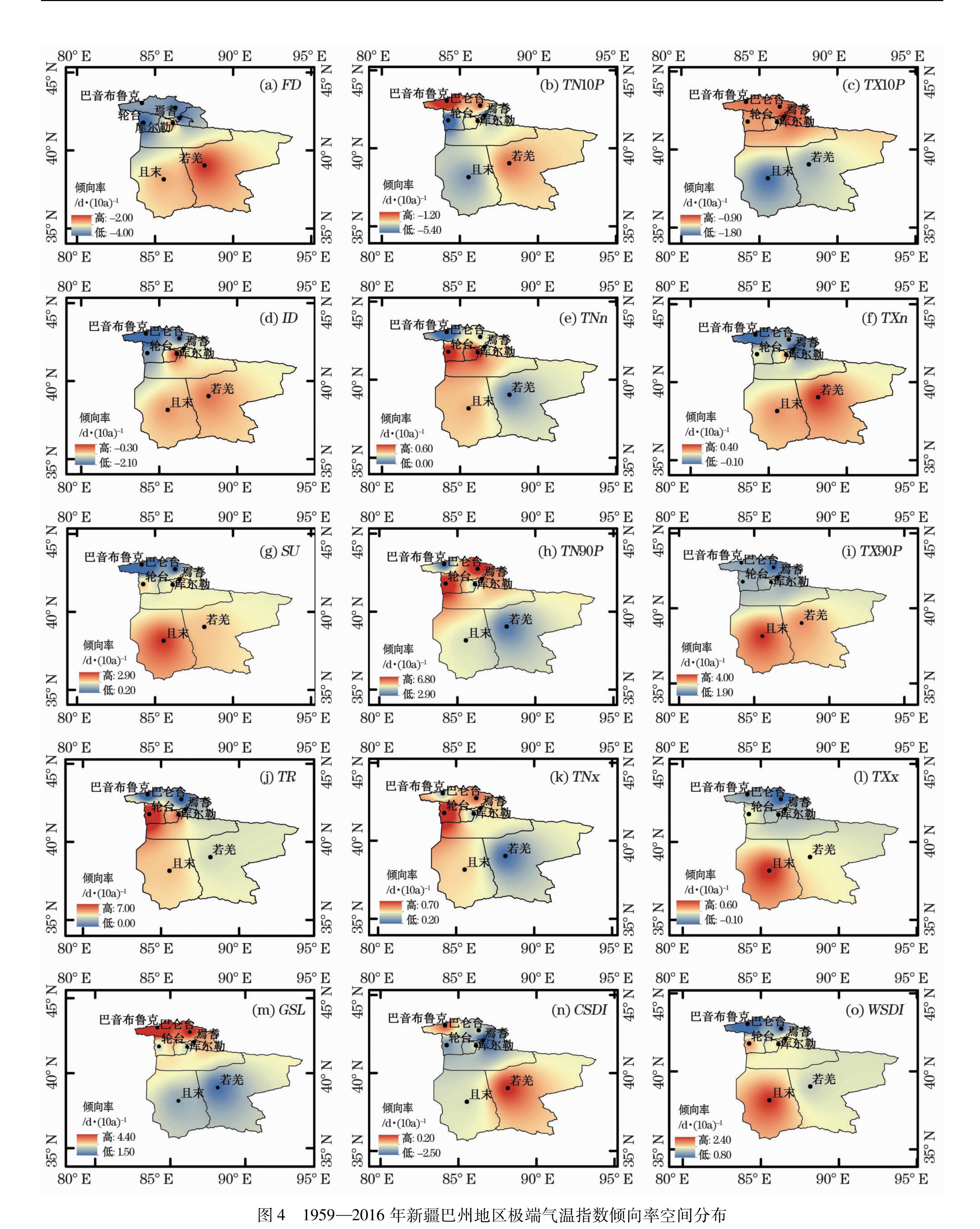


图4 1959—2016年新疆巴州地区极端气温指数倾向率空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of extreme temperature index tendency rate in Bayingolin Mongol Autonumous Prefecture, Xinjiang from 1959 to 2016

度最大,为 7 d·(10 a)$^{-1}$,巴仑台为 0。通常用 *FD*、*TN10P*、*TX10P*、*ID*、*SU25*、*TN90P*、*TX90P*、*TR* 来表示极端气温事件的频率,极端高低温事件频次相反,前者增加,后者减少。*TNn*、*TXn*、*TNx*、*TXx* 各县市之间变化幅度差距较小,冷指数 *TNn* 和 *TXn* 较暖指数 *TNx* 和 *TXx* 变化幅度小。*TNn* 除库尔勒、轮台和且末通过显著性为 0.05 检验水平,其他县增加幅度均不显著;*TXn* 变化趋势不明显($\alpha > 0.05$),巴音布鲁克和焉耆有下降趋势,其他县市为增加趋势;轮台 *TNx* 变化最大,0.7 ℃·(10 a)$^{-1}$,*TXx* 除巴仑台的变化率为负值,其他县市均显著增多,变化幅度由东南向西北减少。极端气温强度的表示常用指数为 *TNn*、*TXn*、*TNx*、*TXx*,1959—2016 年巴州地区极端气温强度为增强,轮台县强度较强。

GSL、*CSDI*、*WSDI*

GSL 和 *WSDI* 趋于不同程度上升,*CSDI* 相反。*GSL* 表现出东南向西北显著增加,其中巴音布鲁克增加显著,幅度最大〔4.4 d·(10 a)$^{-1}$〕;且末 *WSDI* 上升最快〔2.4 d·(10 a)$^{-1}$〕,年均值为 4 d;*CSDI* 除若羌小程度增加,其他县市均减少,焉耆减少最明显〔−2.5 d·(10 a)$^{-1}$〕。作物生长期较长,年均值 224 d,且显现明显增加之势,极端高温和极端低温持续时间较短,年均值分别为 6 d 和 5 d,一定程度上益于农作物的生长和农业的可持续发展。

2.3 极端气温变化影响因素分析

采用主成分分析法,可得:$KMO = 0.842$,因子分析效果较好,$P < 0.01$,表数据适合进行因子分析,结果见表 2 和表 3。

表 3 新疆巴州地区极端气温指数的主成分分析

Tab.3 Factor analysis of extreme air temperature indices in Bayingolin Mongol Autonumous Prefecture, Xinjiang

指数	主成分 1	主成分 2	主成分 3	指数	主成分 1	主成分 2	主成分 3
TEM-A	0.335	−0.031	−0.071	*TX90P*	0.303	0.089	−0.210
FD	−0.308	−0.125	0.175	*TR*	0.274	0.213	0.182
TN10P	−0.313	0.107	−0.024	*TNx*	0.257	0.146	0.484
TX10P	−0.241	0.220	0.069	*TXx*	0.149	0.191	0.561
ID	−0.125	0.438	0.113	*GSL*	0.272	0.171	−0.119
TNn	0.171	−0.412	0.271	*CSDI*	−0.214	0.363	0.013
TXn	0.122	−0.450	0.134	*WSDI*	0.232	0.090	−0.460
SU	0.225	0.248	−0.058	主成分特征值	8.364	3.251	1.022
TN90P	0.312	0.133	0.011	主成分方差贡献/%	52.272	20.321	6.386

所有因子共同度的值在公因子方差表中都大于 0.5(表略),即主成分向原始变量解释程度较高。由表 3 得,第一主成分特征值 8.364,方差贡献率 52.272%,说明第一主成分可描述极端气温的变化,高载荷指数:*TEM-A* 为 0.335,*TN10P* 为 −0.313 和 *TN90P* 为 0.312,说明研究区平均气温和 *TN90P* 的增加、*TN10P* 减少,导致该地区整体气温变化。*FD*、*TN10P*、*TX10P*、*ID* 和 *CSDI* 为负载荷,其他指数均为正载荷,与 *TXx* 呈显著正相关($P < 0.01$,见表 3);第二个主成分方差贡献率 20.321%,*ID* 为 0.438,与 *TEM-A* 成负相关,与 *FD*、*TN10P* 和 *TX10P* 成正相关(表 3);第三个主成分特征值为 1.022,方差贡献率较低,*TXx* 为高载荷,其与 *TR*、*TNx* 成极显著正相关($P < 0.01$),与 *FD* 成极显著负相关。综上,极端气温事件变化与气温暖化相关性较好,冷指数和暖指数成负相关,冷(除 *TNn*、*TXn*)暖各指数之间具有正相关性,此外 *CSDI* 在第一主成分中载荷值为 −0.214,与冷指数(*TN10P*、*TX10P*)正相关,与 *TNn* 呈显著负相关,绝对值均大于 0.5,结合前面所分析可知冷指数变化趋势,表明冷持续指数小幅度增加与冷昼夜的减少和 *TNn* 的上升有关。

3 讨 论

新疆巴州地区近 58 a 极端气候变化表现为:冷事件总体下降,暖事件上升,与全国变化呈非对称性一致[24]。分析极端气温变化特征,寻找规律,及探究影响因素意义重大。事实上,气温暖化会产生利弊两方面影响。有学者研究发现:气温暖化使农作物全生长期(播种至停长)延长,干物质积累[25],提高粮食产量相应增产 10% 的潜力;但气温上升,会导致农业等用水量的提高。此外,气温暖化有利于有害生物过冬,增加农作物受虫害风险,还会导致极

表 4　新疆巴州地区极端指数气温的相关性分析

Tab. 4　The pearson correlation matrix of temperature extremes in Bayingolin Mongol Autonumous Prefecture, Xinjiang

指数	*TEM-A*	*FD*	*TN10P*	*TX10P*	*ID*	*TNn*	*TXn*	*SU*
FD	-0.847**							
TN10P	-0.874**	0.785**						
TX10P	-0.734**	0.511**	0.713**					
ID	-0.429**	0.115	0.441**	0.541**				
TNn	0.478**	-0.270*	-0.582**	-0.496**	-0.684**			
TXn	0.359**	-0.113	-0.417**	-0.489**	-0.651**	0.878**		
SU	0.635**	-0.660**	-0.494**	-0.398**	0.146	-0.012	-0.087	
TN90P	0.883**	-0.859**	-0.762**	-0.453**	-0.152	0.288*	0.127	0.617**
TX90P	0.879**	-0.805**	-0.681**	-0.439**	-0.295*	0.281*	0.183	0.614**
TR	0.735**	-0.721**	-0.672**	-0.389**	0.035	0.115	-0.025	0.608**
TNx	0.671**	-0.621**	-0.616**	-0.319*	-0.039	0.313*	0.114	0.541**
TXx	0.330*	-0.367**	-0.290*	-0.156	0.098	0.081	-0.095	0.337**
GSL	0.729**	-0.791**	-0.614**	-0.480**	0.022	0.150	0.072	0.660**
CSDI	-0.614**	0.409**	0.724**	0.730**	0.688**	-0.729**	-0.662**	-0.083
WSDI	0.604**	-0.721**	-0.549**	-0.308*	-0.198	0.130	0.077	0.390**

指数	*TN90P*	*TX90P*	*TR*	*TNx*	*TXx*	*GSL*	*CSDI*
FD							
TN10P							
TX10P							
ID							
TNn							
TXn							
SU							
TN90P							
TX90P	0.853**						
TR	0.869**	0.685**					
TNx	0.763**	0.614**	0.809**				
TXx	0.393**	0.352**	0.437**	0.559**			
GSL	0.712**	0.733**	0.660**	0.565**	0.394**		
CSDI	-0.372**	-0.383**	-0.258	-0.254	-0.070	-0.301*	
WSDI	0.618**	0.752**	0.468**	0.328*	0.274*	0.575**	-0.310*

注：*、**分别表示通过 0.05、0.01 显著性检验水平

端气候事件的发生。气温变化复杂，有多方面因素影响，大气环流[26]、太阳黑子[27]、纬度[28]、高程[29]，人类活动如城市化[30]，都会影响极端气温的变化，由于资料有限，对研究区极端气温事件影响因素和具体程度仍需进一步研究。总而言之，加强对极端气温事件的监测，总结规律，规避风险，加强防范意识，制定科学合理预防措施，有利于区域可持续发展。

4　结 论

本文以长时间序列的气温数据为基础，对新疆巴州地区的极端气温特征及原因分析，得出下列结论：

（1）时间特征，1959—2016 年新疆巴州地区极端气温的连续性变化：暖指数上升，冷指数普遍表现为下降，夜指数（冷夜、暖夜）变化较昼指数（冷昼、暖昼）激烈。不连续性变化表现为：存在突变，冷指数突变时间段为 20 世纪 80 和 90 年代中后期，暖指数和 *GSL*、*WSDI* 突变时间一致为 90 年代中后期，与中国大陆突变时间大体一致，可能是新疆巴州地区处于我国西北干旱区，植被稀少，生态环境脆弱，较敏感。

（2）空间特征，极端高温事件频率增加、强度显著增强，其中 *TN90P* 空间表现由中间向东南、西北方向递减，高值区为轮台、巴仑台，低值区是巴音布鲁克和若羌；极低温频率降低，强度不明显增强；极端持续事件 GSL 年均值为 224 d，且显著增加，巴音

布鲁克增加最为显著,幅度最大[4.4 d·(10 a)$^{-1}$],*WSDI* 和 *CSDI* 持续时间较短,年均值分别为 6 d 和 5 d,在一定程度上这种变化益于作物生长,有利于现代农业的可持续发展。

(3) 周期:*TNx*、*TXx* 和 *GSL* 变化周期具有一致性,主周期均为 28 a。周期性最明显的是 23 ~ 32 a,能量最强,有三次冷—暖交替。

(4) 影响因素:*TEM-A*、*TN90P* 和 *TN10P* 是巴州地区极端事件变化的主要因素。极端气温事件与气温暖化相关性较好,冷指数(*FD*、*TN10P*、*TX10P*、*ID*)和暖指数呈负相关,冷(除 *TNn*、*TXn*)暖各指数之间呈正相关。

极端高温事件频次增多,强度增大,持续时间拉长,必然会带来环境和经济方面的损失,应以更多的关注,加强高值区预防力度和监测力度,及时规避风险,丰富局部极端气温研究实例,为研究全疆研究极端事件作科学基础。

参考文献(References)

[1] 胡宜昌,董文杰,何勇. 21 世纪初极天气气候事件研究进展[J]. 地理科学进展,2007,22(10):1066 - 1074. [HU Yichang, DONG Wenjie, HE Yong. Progress of the study of extreme weather and climate events at the beginning of the twenty first century [J]. Progress in Geography,2007,22(10):1066 - 1074.]

[2] 秦大河,STOCKER T. IPCC 第五次评估报告第工作组报告的亮点结论[J]. 气候变化研究进展,2014,10(1):1 - 6. [QING Dahe, STOCKER T. Highlights of the report of the working group on the Fifth Assessment Report of the IPCC [J]. Advances in Climate Change Research,2014,10(1):1 - 6.]

[3] 贾宏涛,赵成义,巴特尔·巴克. 新疆气候变化影响的观测事实及其对农牧业生产的影响[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(11):72 - 76. [JIA Hongtao, ZHAO Chengyi, BAKE Bater. Observation of Xinjiang climate change and its impact on agricultural production[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009,23(11):72 - 76.]

[4] IPCC. Climate change 2013: The physical science. Contribution of working group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. New York: Cambridge University Press,2013.

[5] 沈永平,王国亚. IPCC 第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点[J]. 冰川冻土,2013,35(5):1068 - 1076. [SHEN Yongping, WANG Guoya. The latest scientific points of the IPCC First Working Group's fifth assessment report on global climate change awareness[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2013,35(5):1068 - 1076.]

[6] 丁一汇,任国玉,石广玉,等. 气候变化国家评估报告(I):中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展,2006,2(1):3 - 8. [DING Yihui, REN Guoyu, SHI Guangyu, et al. National assessment report on climate change (I): History and future trends of climate change in China[J]. Advances in Climate Change Research,2006,2(1): 3 - 8.]

[7] 程炳岩,丁裕国,何卷雄. 全球变暖对区域极端气温出现概率的影响[J]. 热带气象学报,2003,19(14):429 - 435. [CHEN Bingyan, DING Yuguo, HE Juanxiong. The influence of the global warming on the probability of regional extreme temperatures[J]. Journal of Tropical Meteorology,2003,19(14):429 - 435.]

[8] 王岱,游庆龙,江志红,等. 中国极端气温季节变化对全球变暖减缓的响应分析[J]. 冰川冻土,2016,38(1):36 - 46. [WANG Dai, YOU Qinglong, JIANG Zhihong, et al. Response analysis of seasonal changes of extreme temperature in China to global warming slow down[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2016, 38(1):36 - 46.]

[9] 江晓菲,李伟,游庆龙. 中国未来极端气温变化的概率预估及其不确定性[J]. 气候变化研究进展,2018,14(3):228 - 236. [JIANG Xiaofei, LI Wei, YOU Qinglong. Probability projection and uncertainties of the temperature extreme indices change over China [J]. Advances in Climate Change Research,2018,14(3):228 - 236.]

[10] JANA S, MARKUS G D, JOHN C F, et al. Observed and simulated temperature extremes during the recent warming hiatus[J]. Environmental Research Letters,2014,9:doi: 10.1088/1748 - 9326/9/6/064023.

[11] CHOI G, COLLINS D, REN G, et al. 2009. Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asia-Pacific Network region,1955 - 2007[J]. International Journal of Climatology,29(13):1906 - 1925.

[12] 曲姝霖,仝纪龙,唐睿,等. 西北地区极端高温变化及其对气候变暖停滞的响应[J]. 气象与环境学报,2017,33(4):78 - 85. [QU Shulin, TONG Jilong, TANG Rui, et al. Changes in the extremely high temperature in northwest China and its response to the stagnation of global warming[J]. Journal of Meteorology and Environment,2017,33(4):78 - 85.]

[13] 薛海丽,张钦,唐海萍. 近 60 a 内蒙古不同草原类型区极端气温和干旱事件特征分析[J]. 干旱区地理,2018,41(4):701 - 711. [XUE Haili, ZHANG Qin, TANG Haiping. Extreme temperature and drought events in four different grassland areas of Inner Mongoliai in recent 60 years[J]. Arid Land Geography,2018,41(4):701 - 711.]

[14] 贾文雄. 近 50 a 来祁连山及河西走廊极端气候的时空变化研究[J]. 干旱区地理,2012,35(4):559 - 567. [JIA Wenxiong. Temporal and spatial change of climate extremes in Qilian Mountains and Hexi Corridor during last fifty years[J]. Arid Land Geography,2012,35(4):559 - 567.]

[15] 闫虎,王玉杰,张会兰. 新疆巴音郭楞蒙古自治州生态敏感性分析[J]. 干旱区地理,2015,38(6):1226 - 1233. [YAN Hu,

WANG Yujie,ZHANG Huilan. Ecological sensitivity of Bayingolin Mongolian Autonomous Prefecture of Xinjiang[J]. Arid Land Geography,2015,38(6):1226 – 1233.]

[16] 任福民,高辉,刘绿柳,等. 极端天气气候事件监测与预测研究进展及其应用综述[J]. 气象,2014,40(7):860 – 874. [REN Fumin,GAO Hui,LIU Luliu,et al. Research progresses on extreme weather and climate events and their operational applications in climate monitoring and prediction[J]. Meteorological Monthly,2014,40(7):860 – 874.]

[17] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2016:1 – 99. [WEI Fengying. Diagnosis and prediction of modern climate statistics[M]. Beijing:China Meteorological Press,2016:1 – 99.]

[18] 慈晖,张强,张江辉,等. 1961—2010 年新疆极端气温时空演变特征研究[J]. 中山大学学报(自然科学版),2015,54(4):129 – 138. [CI Hui,ZHANG Qiang,ZHANG Jianghui,et al. Spatiotemporal variations of extreme temperature events over Xinjiang during 1961 – 2010[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni,2015,54(4):129 – 138.]

[19] 张志高,苗运玲,邱双娟,等. 1951—2016 年新疆哈密极端气温变化研究[J]. 新疆大学学报(自然科学版),2019,36(1):89 – 97. [ZHANG Zhigao,MIOA Yunling,QIU Shuangjuan,et al. Changes of extreme air temperature in Hami of Xinjiang during 1951 – 2016[J]. Journal of Xinjiang University (Science& Engineering),2019,36(1):89 – 97.]

[20] 丁之勇,葛拥晓,吉力力・阿不都外力,等. 1957—2012 年新疆艾比湖流域极端气温与降水变化趋势[J]. 中国科学院大学学报,2018,35(2):160 – 171. [DING Zhiyong,GE Yongxiao,ABUDUWAILI Jilili,et al. Trends of extreme temperature and precipitation in Ebinur Lake basin in Xinjiang during the period from 1957 to 2012[J]. Journal of Univeisity of Chinese Academy of Sciences,2018,35(2):160 – 171.]

[21] 武胜利,刘强吉,胡雪瑛,等. 全球变化背景下新疆和田地区近半个世纪极端气温变化特征分析[J]. 水土保持研究,2017,24(5):209 – 214. [WU Shengli,LIU Qiangji,HU Xueying,et al. Characteristics of extreme temperature changes in Hotan region under global changes[J]. Research of Soiland Water Conservation,2017,24(5):209 – 214.]

[22] 王杰,曹言,黄英,等. 滇中地区作物生长期时空变化特征及影响因子分析[J]. 灌溉排水学报,2017,36(8):83 – 88. [WANG Jie,CAO Yan,HUANG Ying,et al. Spatio-temporal variation of crop growth and its impacting factors in central Yunnan Province[J]. Journal of Irrigation and Drainage,2017,36(8):83 – 88.]

[23] 杨晓静,徐宗学,左德鹏,等. 云南省 1958—2013 年极端气温时空变化特征分析[J]. 长江流域资源与环境,2016,25(3):523 – 536. [YANG Xiaojing,XU Zongxue,ZUO Depeng,et al. Spatiotemporal characteristics of extreme air temperatuer in Yunnan Province during 1958 – 2013[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2016,25(3):523 – 536.]

[24] 任国玉,封国林,严中伟. 中国极端气候变化观测研究回顾与展望[J]. 气候与环境研究,2010,15(4):337 – 353. [REN Guoyu,FENG Guolin,YAN Zhongwei. Progresses in observation studies of climate extremes and changes in mainland China [J]. Climatic and Environmental Research,2010,15(4):337 – 353.]

[25] 王雪姣. 气候变化对新疆棉花物候、产量和品质的影响与适应措施[D]. 北京:中国农业大学资源与环境学院,2015:1 – 117. [WANG Xuejiao. Effects of climate change on cotton phenology,Yield and quality in Xinjiang and adaptation measures[D]. Beijing:College of Resources and Environment,China Agricultural University,2015:1 – 117.]

[26] 丁之勇,葛拥晓,吉力力・阿不都外力. 北疆地区近 53 a 极端气温事件及其影响因素分析[J]. 地球环境学报,2018,9(2):159 – 171. [DING Zhiyong,GE Yongxiao,ABUDUWAILI Jilili. Spatiotemporal variation characteristics of extreme temperature and its influencing factors in recent 53 years in northern Xinjiang,China[J]. Journal of Earth Environment,2018,9(2):159 – 171.]

[27] 张强,韩永翔,宋连春. 全球气候变化及其影响因素研究进展综述[J]. 地球科学进展,2005,20(9):990 – 998. [ZHANG Qiang,HAN Yongxiang,SONG Lianchun. The summarize of development of global climate change and its effect factors[J]. Advances in Earth Science,2005,20(9):990 – 998.]

[28] 任景全,郭春明,刘玉汐,等. 1961—2015 年吉林省极端气温指数时空变化特征[J]. 生态学杂志,2017,36(11):3224 – 3234. [REN Jingquan,GUO Chunming,LIU Yuxi,et al. Spatiotemporal change characteristics of extreme temperature indices in Jilin Province during 1961 – 2015[J]. Chinese Journal of Ecology,2017,36(11):3224 – 3234.]

[29] LI Zongxing,HE Yuanqing,THEAKSTONE W. Altitude dependency of trends of daily climate extremes in southwestern China,1961 – 2008[J]. Journal of Geographical Sciences,2012,22(3):416 – 430.

[30] 张雷,任国玉,刘江,等. 城市化对北京气象站极端气温指数趋势变化的影响[J]. 地球物理学报,2011,54(5):1150 – 1159. [ZHANG Lei,REN Guoyu,LIU Jiang,et al. Urban effect on trends of extreme temperature indices at Beijing Meteorological Station [J]. Chinese Journal of Geophysics,2011,54(5):1150 – 1159.]

Variation characteristics of extreme temperature events in Bayingolin Mongol Autonumous Prefecture, Xinjiang in recent 58 years

ZHAO Ming-yu[1,2], WU Sheng-li[1,2,3], REN Yao-jun[3], LV Ting[1,2], LI Jing-long[1,2]

(1 *College of Geographical Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi* 830054, *Xinjiang, China*; 2 *Xinjiang Key Laboratory for Lacustrine Environment and Resources in Arid Area, Xinjiang Normal University, Urumqi* 830054, *Xinjiang, China*; 3 *Laboratory and Equipment Management Office of Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang* 830054)

Abstract: The Bayingolin Mongol Autonomous Prefecture (BMAP) is an arid and ecologically fragile zone located in the southeastern part of the Xinjiang Uygur Autonomous Region, China. It is sensitive to temperature change and exhibits specific indicators of such change. Previous studies have found that global warming has intensified the occurrence of extreme weather in the region. Extreme weather events, especially extreme temperatures, have high frequency, high intensity and long duration, and threaten food security, water security and energy security. They thus have critical importance for society. Exploring the characteristics and patterns of regional extreme temperature forms the basis for predicting such events. Existing research on extreme climate change focuses on spatial and temporal laws at different scales, but the selection of index standards is different between studies. It is also crucial to note that spatial and temporal laws are inseparable from the complex dynamics of extreme temperature events. There are few studies on extreme temperature events in BMAP . In order to increase the sustainability of the region, we have analyzed periods of extreme temperature change to provide plans for the mitigation of extreme temperatures in terms of the local-scale layout of agriculture in the region. Based on daily maximum and minimum temperature data observed at 7 meteorological stations in the BMAP of Xinjiang from 1959 to 2016, combined with current measurements, 15 extreme temperature indexes recommended by WMO were selected and calculated using RClimDex(1.0) software. Extreme temperature events in the study area were analyzed using a variety of statistical methods, such as unitary linear regression, anomalies, the Mann-Kendall method, sliding T test, wavelet analysis, principal component analysis, and inverse distance weighted interpolation, among others. The results were tested for their significance. The results show that, during the last 58 years, changes of cold and warm indexes in BMAP are asymmetric: the warm index shows a significant upward trend, while the cold index shows a significant downward trend. The corresponding change rates of night index (*TN*10*P*, *TN*90*P*) and day index (*TX*10*P*, *TX*90*P*) are greater in the former than in the latter. The cold index mutated in the mid-late 1980s and 1990s, while the warm index, *GSL*, and *WSDI* mutated in the mid-late 1990s. The cold index is more sensitive to climate change. The frequency of occurrence of extreme high temperature increased while the frequency of extreme low temperature decreased. The duration of the growth period of crops showed a significant increasing trend. *TNx*, *TXx*, and *GSL* have a main cycle of 28 years. High load index, *TEM-A* (0.335), *TN*10*P* (−0.313), and *TN*90*P* (0.312) are the main factors affecting overall temperature changes in the region. Since China has a vast territory, and diverse geographical and human factors, extreme temperature changes affect the country in complex ways, and different measures are required for different regions. The study of regional extreme temperature events can increase the theoretical understanding of their occurrence, benefit the mitigation of extreme temperatures in certain regions, and improve agricultural production, ecological environment, and the economy. This can provide a scientific basis for regional sustainable development.

Key words: Bazhou region; indices of temperature extremes; spatio-temporal characteristics; cycle detection